

슈퍼커패시터를 이용한 전동차량용 에너지저장시스템의 제어기 설계

노세진, 이진목, 손경민, 최은진, 최재호
충북대학교

A Control Design of Energy Storage System for Electric Railway Vehicle Using Supercapacitor

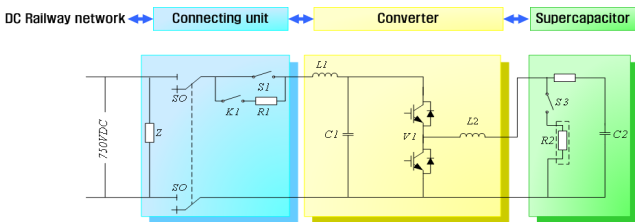
Sejin Noh, Jinmok Lee, kyoung min son, EunJin Choi, Jaeho Choi
School of Electrical and Computer Engineering, Chungbuk National University

Abstract - It is possible to suppress voltage drops, power loading fluctuations and regeneration power lapses for DC railway systems by applying an energy storage system. A electric double layer capacitor (EDLC) of the rapid charge/discharge type has been developed and used in wide ranges. It has a long life, high efficiency and maintenance free/low pollution features as a new energy storage element. In this paper, an efficient charge and discharge control method of a bidirectional DC-DC converter using the supercapacitor is proposed.

1. 서 론

우리나라는 6,000량 이상의 전동차량이 운행되고 있다. 이중 95% 이상의 차량은 회생이 가능한 시스템 구조로 되어 운행되고 있다. 그중에서도 특히 VVVF 인버터 차량은 회생률이 높은 시스템이나 회생된 에너지 활용이 떨어지고 있는 상황이며, 대내적으로는 유가 상승으로 인하여 에너지 활용이 절실히 요구되는 시점이다. 기존의 인버터 방식을 활용한 전력 회생은 전원 전력을 회생하였으나, 전원의 상태에 따라 정해지기 때문에 회생전력 사용이 효율적이지 못했고, 또한 회생전력으로 인한 가선 전압 변동 요인도 발생하고 있어, 시스템 안전 운행에 영향을 미칠 수도 있다.^{[1][2]}

본 논문에서는 이러한 요인들을 해결하고 경제적인 양방향 DC/DC 컨버터와 응용분야가 점차 확대되어가는 슈퍼커패시터를 이용하여 전동차가 감속시 순간적으로 발생하는 회생에너지를 효율적으로 슈퍼커패시터에 저장하였다가 역행시 필요한 에너지를 공급해주는 충·방전 제어기법을 제안하고 이를 시뮬레이션 및 실험을 통하여 확인 하였다.

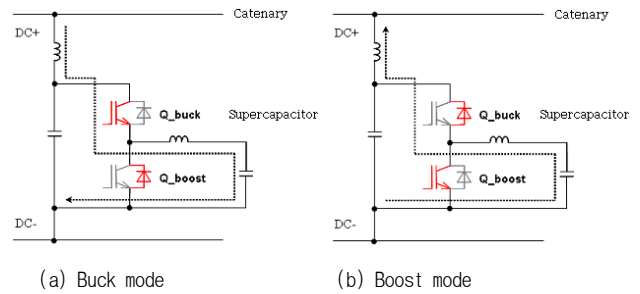


〈그림 1〉 양방향 DC/DC 컨버터

2. 본 론

2.1 에너지 저장장치 구성방식

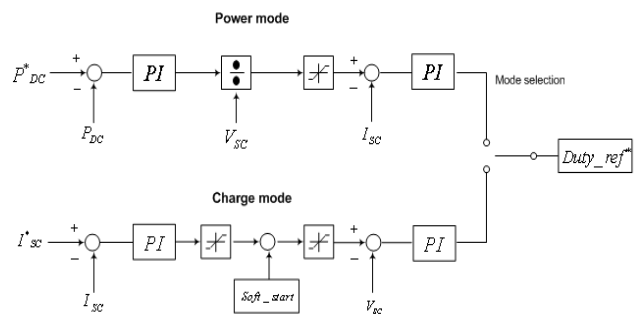
에너지 저장장치 시스템은 그림 1과 같이 양방향 DC/DC 컨버터와 회생에너지를 저장 할 수 있는 슈퍼커패시터로 구성 할 수 있다. 전동차가 감속시 추진인버터 시스템이 발전기로 동작하여 회생에너지를 발생하며 가선전압보다 상승하게 됨으로써 양방향 DC/DC 컨버터는 회생에너지에 의해서 가선 전압이 정격 가선 전압보다 높으면 그림 2(a)의 벡 컨버터가 동작하여 가선에서 슈퍼커패시터로 회생에너지가 전달된다. 이와 반대로 전동차가 역행을 하면 가선전압이 정격 가선 전압보다 낮아지면 양방향 DC/DC 컨버터는 그림 2(b)의 부스트 컨버터가 동작하여 슈퍼커패시터에 저장된 에너지를 가선에 공급하게 된다.^{[3][4]}



〈그림 2〉 양방향 DC/DC 컨버터 동작 모드

3. 양방향 DC/DC 컨버터의 제어기 설계

그림 3은 제안하는 양방향 컨버터의 제어방법을 나타내는 블록선도이다. 전제 제어 시스템은 2개의 제어기로 구성 되어 있으며, 초기 슈퍼커패시터에 충전 전압이 10% 미만일 경우 충전모드로 초기 슈퍼커패시터의 전류를 일정하게 제어하는 충전모드와 가선 전력을 안정화하는 전력모드구성 되었다. 모드 선택은 가선에서 변동되는 회생에너지와 소모되는 에너지를 계산으로 모드가 결정된다. 충전모드 제어기는 하나의 전류와 전압 제어 루프로 구성 되었다. 전류제어기에 의해서 슈퍼커패시터 전류를 일정하게 유지하기 위해 필요한 전압지령이 만들어진다.

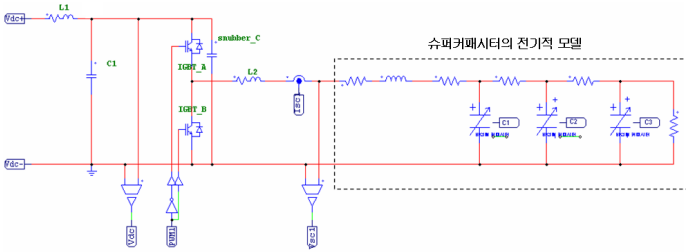


〈그림 3〉 양방향 DC/DC 컨버터의 제어 블록선도

전동차량에 의해서 순간적으로 발생한 회생에너지와 역행시 필요한 에너지를 전력제어기에 의해서 효과적인 제어가 가능하다. 이때, 슈퍼 커패시터의 충전전압이 정격의 50%이상인 경우로 전력제어는 가선의 전력계산을 바탕으로 일정 전력을 유지하는 것이 목적이다. 전력 제어기는 하나의 전력제어와 전압 제어 루프로 구성 되었으며, 가선 지령 전력과 실제 시스템의 전력 값을 비교하여 가선 전력을 일정하게 유지하기 위한 필요한 전압지령을 만든다. 전력제어기는 가선의 필터 커패시터의 용량과 가선 전압으로 전력을 계산하기 때문에 전력에 대한 에러 값은 공통항인 필터 커패시터의 용량을 제거하고 살펴보면 가선의 전압의 제곱의 값을 가지게 된다. 따라서 전력제어기 동작 시 가선은 일정한 DC 전압으로 유지된다.

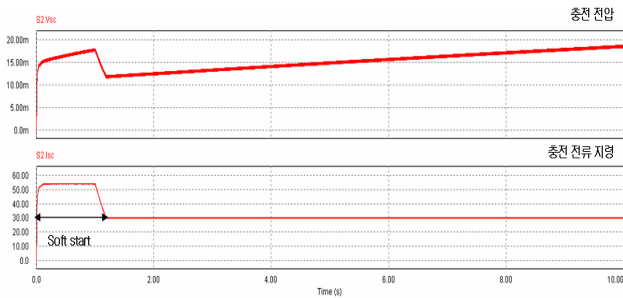
4. 축소 모델 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 4는 PSIM 시뮬레이션 툴을 이용한 양방향 DC/DC 컨버터와 슈퍼커패시터의 축소 모델 시뮬레이션이다. 축소 모델 시뮬레이션을 이용하여 전동차량에 의해서 순간적으로 변동하는 가선 전압을 슈퍼커패시터를 이용하여 가선 전압을 안정화 시키는 제어기법의 타당성을 검증하고자 한다.

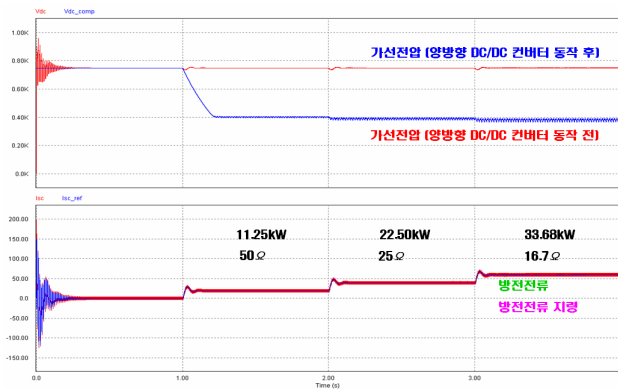


〈그림 4〉 축소 모델 시뮬레이션

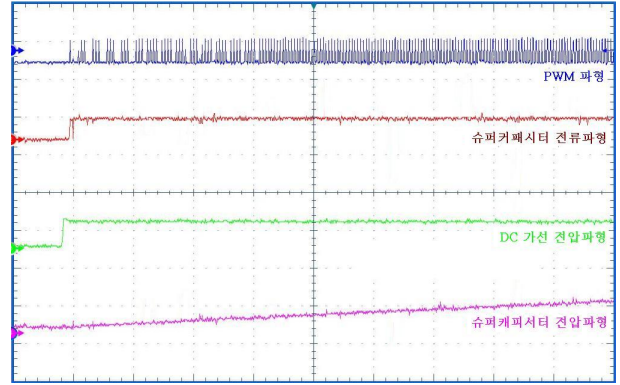
축소모델 시뮬레이션을 이용하여 그림 5와 같은 충전모드 시뮬레이션 결과를 보여 준다. 초기 1s는 소프트 스타트 제어를 통해 30A 정 전류 충전을 하지 못하지만 전류의 상승이 IGBT 사양의 범위에 있는 54A로 제어가 되는 모습을 볼 수 있다. 초기 소프트 스타트 충전을 완료 후 전류제어기를 동작시켜 전류 지령인 30A를 잘 추종하는 모습을 보여주고 있다. 그림 6은 가선전압을 변동하여 시뮬레이션 한 결과를 보여준다. 양방향 DC/DC 컨버터를 사용하지 않는 경우 가선 전압이 순간적으로 떨어지지만 양방향 DC/DC 컨버터 사용한 경우 DC 가선 전압이 일정하게 유지하고 있음을 볼 수 있다. 이때 슈퍼커패시터에서 DC 가선으로 방전하는 전류는 방전 전류 지령을 잘 추종하고 있음을 확인할 수 있다. 축소모델 모의실험으로 그림 7과 8의 실험 결과를 얻었다. 충전모드 실험에서 초기에 약 1-1.2초 정도 최소펄스로 시작하여 일정한 전류 충전으로 일정한 전압으로 슈퍼커패시터 전압이 상승한 것을 알 수 있다. 전력모드 실험은 축소 모델 시뮬레이션과 동일하게 DC 가선 전압을 변동하여 실험 하였다. DC 가선 전압이 순간적으로 떨어지지만, 에너지 저장 장치에 저장된 회생에너지가 DC 가선전압에 공급되기 때문에 가선전압 변동이 적다는 것을 알 수 있다.



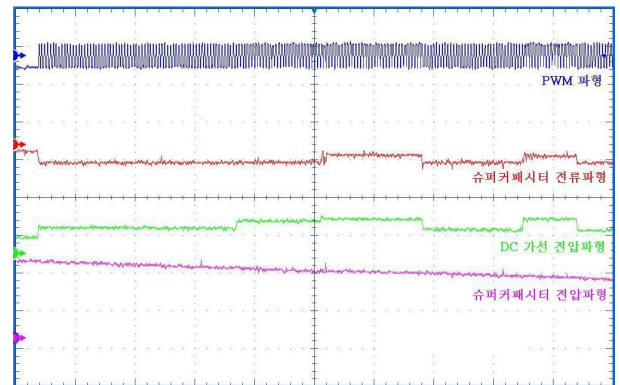
〈그림 5〉 충전모드 시뮬레이션 결과



〈그림 6〉 전력모드 시뮬레이션 결과



〈그림 7〉 충전모드 실험 결과



〈그림 8〉 전력모드 실험 결과

5. 결 론

본 논문은 전동차량에서 발전제동으로 저장에서 열로 소비된 환경을 양방향 DC/DC 컨버터와 슈퍼커패시터를 이용하여 회생 에너지를 저장하고 역행시 필요한 에너지를 다시 공급함으로써 경제적인 효과와 DC 가선 전압 안정화를 얻을 수 있고, 이를 효율적으로 제어하는 제어기법을 제안 하였다. 제안하는 방식은 양방향 DC/DC 컨버터와 슈퍼커패시터를 이용한 축소 모델 시뮬레이션 및 축소모델 모의실험으로 타당성을 입증하였다.

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임

[참 고 문 헌]

- [1] 김길동, 김중대, 이한민 "전동차 회생 에너지 저장 시스템 개발에 관한 연구," 한국철도학회 학술발표대회 논문집, pp. 24-28, 2005.
- [2] 김길동, 이한민 "전동차 회생에너지 활용을 위한 저장시스템 기술," 한국조명전기설비학회 논문집, 제20권, 제2호, pp. 10-15, 2006.
- [3] B.J. Arnet and L.P. Haines, "High power DC-to-DC converter for supercapacitors," Electric Machines and Drives Conference, pp. 985-990, 2001.
- [4] 박찬홍, 김종윤, 조기현, 장수진, 이병국, 원충연 "철도차량 시뮬레이터를 이용한 능동회생 양방향 DC-DC 컨버터 설계," 전력전자학회 대회논문집, pp. 166-168, 2007.